

Ю.В.КРАВЧЕНКО, аспирант, НТУ «ХПИ»;
О.В.ПОКЛАДОВ, НТУ «ХПИ»;
В.В.РУДАКОВ, докт.техн.наук, проф., НТУ «ХПИ»

РЕСУРС МНОГОСЛОЙНОЙ ПОЛИЭТИЛЕНОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИМПУЛЬСОВ НАНОСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ

Проведені ресурсні випробування для визначення тривалої електричної міцності багатошарової поліетиленової ізоляції під впливом імпульсів високої напруги наносекундного діапазону (три-валістю порядку сотень наносекунд)

The resource researches for determine of longtime electric strength of multilayer polyethylene insulation by the high-voltage nanosecond pulses influence are made.

Уменьшение длительности импульсов позволяет существенно расширить функциональные возможности технологических устройств, работа которых основана на использовании высоковольтного импульсного разряда [1,2]. Получение импульсов напряжения с коротким фронтом нарастания и длительностью в генераторах импульсов высокого напряжения (ГИН) сопряжено с необходимостью снижения индуктивности между прямым и обратным токопроводами. Одним из возможных решений поставленной задачи является применение твердой изоляции, обладающей повышенной по сравнению с воздухом электрической прочностью, которая закладывается между прямым и обратным токопроводами. Тем самым, достигается снижение индуктивности между ними, за счет значительного сокращения расстояния между токопроводами (по сравнению с использованием воздушного изоляционного зазора).

Применительно к ГИН, построенным по схеме Фитча-Говелла [3,4], целесообразно конструктивное исполнение прямого и обратного токопроводов в виде плоских симметрично расположенных шин с закругленными краями. В качестве твердой изоляции, используемой для создания диэлектрического промежутка повышенной электрической прочности между токопроводами, наиболее предпочтительной к применению, благодаря высокой электрической и механической прочности, высокому удельному сопротивлению и малому (порядка 0,00015-0,0002) тангенсу угла диэлектрических потерь, является многослойная пленочная полиэтиленовая изоляция [5]. Использование многослойной изоляции дает возможность увеличения до 1,5 раз рабочей напряженности поля по сравнению с аналогичной монолитной [6].

Цель работы. Определение длительной электрической прочности много-

слоистой полиэтиленовой изоляции при воздействии высоковольтных импульсов наносекундного диапазона (длительностью порядка сотен наносекунд).

Постановка задачи. Необходимо провести ресурсные испытания полиэтиленовой изоляции, которая должна быть обернута вокруг электродов (пластин с закругленными краями, находящимися под разностью потенциалов), для имитации конструктивного исполнения реального обратного и прямого токопроводов ГИН. Выбор способа закладки пленочного диэлектрика для изоляции токопроводов друг от друга осуществлен на основании данных по теоретическому исследованию данной задачи, приведенных в [7]. Данные по расчету поля свидетельствуют, что применение оборачивания пленочной изоляции вокруг электродов (рис. 1, а) позволяет существенно улучшить распределение электрического поля на поверхности электрода и снизить неоднородность поля по сравнению со случаем закладки пленочной изоляции в виде плоских полос (рис. 1, б), не защищающих края электродов. Снижение относительной максимальной напряженности поля достигают до 2 раз. Таким образом, применение подобного способа закладки изоляции должно обеспечить существенный рост ресурса многослойной пленочной изоляции по сравнению с экспериментальными данными полученными в [5].

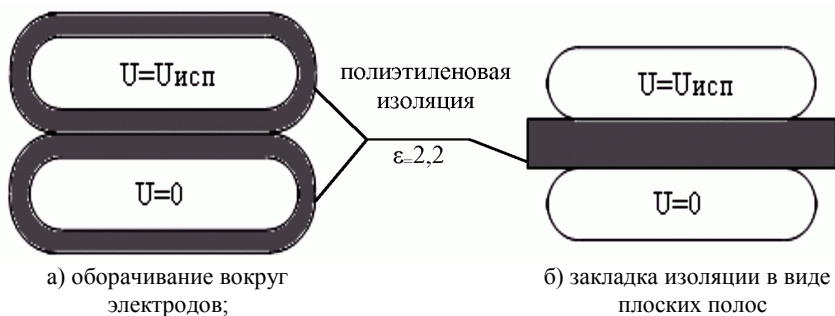


Рисунок 1 – Способы закладки изоляции между прямым и обратным токопроводом ГИН

Методика проведения эксперимента. Объект испытания выполнен из электродов и обернутой вокруг них полиэтиленовой изоляции. Электроды представляют собой стальные пластины толщиной 3 мм и шириной 40 мм, с радиусом закругления кромки края 0,5 мм. Вокруг каждого из электродов обернуто по 24 слоя полиэтиленовой пленки с толщиной слоя 100 мкм. Таким образом, суммарное расстояние между электродами составило $2 \times 24 \times 100 = 4,8$ мм. Площадь соприкосновения электродов при проведении данного эксперимента была равна $\approx 160 \times 40 = 6400 \text{ мм}^2$.

Электрическая схема испытательной установки представлена на рис. 2.

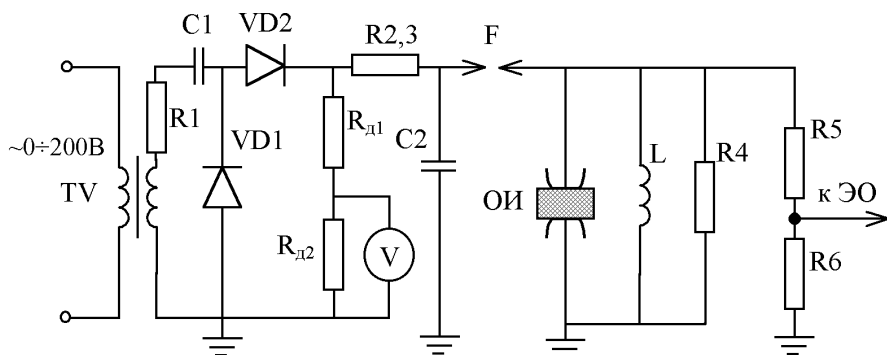


Рисунок 2 – Электрическая схема испытательной установки

Основными узлами испытательной установки являются повышающий трансформатор напряжения TV с коэффициентом трансформации равным 500, регулировка первичного напряжения которого производится с помощью однофазного тиристорного регулятора с диапазоном регулирования от 0 до 200 В; токоограничивающих резисторов $R1 = 120 \text{ кОм}$, $R2,3 = 30 \text{ МОм}$; схема удвоения напряжения, представленная двумя конденсаторами $C1 = 0,25 \text{ мкФ}$ и $C2 = 1,3 \text{ нФ}$ и двумя высоковольтными диодами VD1 и VD2, с помощью которой удастся повысить напряжения от 65 кВ до 120-130 кВ; разрядника F, срабатывающего в неуправляемом режиме (самоход) при определенной разности напряжения на электродах разрядника, зависящей от величины выставляемого воздушного зазора; испытательного объекта ИО (двух электродов обернутых слоями испытуемой полиэтиленовой изоляции); делителя напряжения $R_{д1}$, $R_{д2}$ с коэффициентом деления, равным 4000; формирующей линии состоящая из индуктивности $L = 15 \text{ мкГн}$ и 6-ти резисторов с суммарным сопротивлением $R4 = 166,7 \text{ Ом}$. Для подключения электронного осциллографа (ЭО) использован также омический делитель напряжения, состоящий из резисторов $R5 = 4 \text{ кОм}$ и $R6 = 0,4 \text{ Ом}$ (коэффициент деления составил 1000).

Внешний вид испытательной установки представлен на рис. 3

Испытания проводились путем подачи на испытуемые образцы изоляции колебательных импульсов напряжения с частотой следования импульсов $5 \div 15 \text{ Гц}$. Частота следования ограничивалась временем нарастания напряжения на испытываемом объекте и условиями развития разрядных процессов в промежутке неуправляемого шарового разрядника F. Осциллограмма импульса напряжения приведена на рис. 4. Амплитуда импульсов напряжения в процессе проведения эксперимента составила 120-180 кВ.

Анализ осциллограммы (рис. 4) показывает, что длительность фронта импульса на уровне 0,1-0,9 составляет $\approx 100 \text{ нс}$, период колебаний – $\approx 600 \text{ нс}$, декремент колебаний – 2.

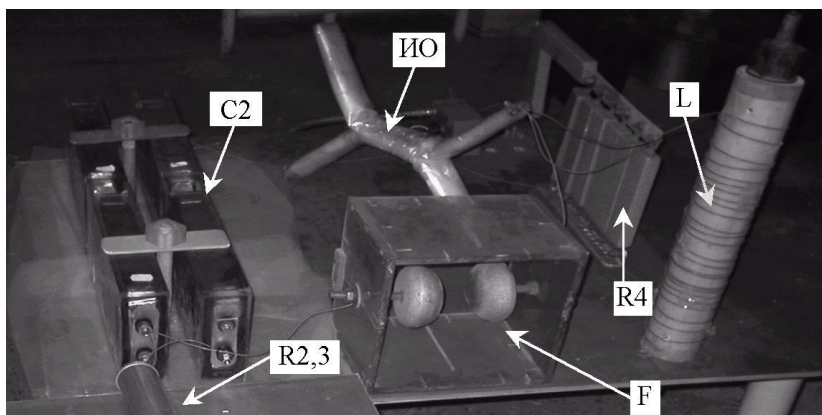


Рисунок 3 – Внешний вид испытательной установки

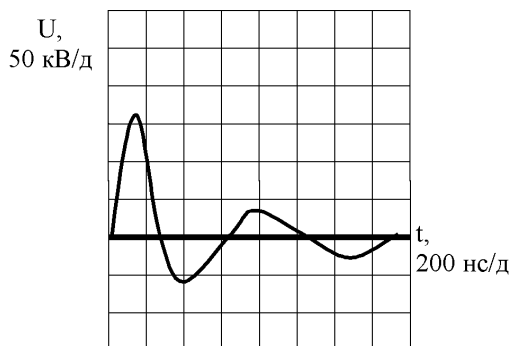


Рисунок 4 – Осциллограмма колебательного импульса, подаваемого на испытуемый объект

Результаты испытаний. При проведении ресурсных испытаний возникла проблема перегрева токоограничивающих резисторов R3 (КЭВ-40). Вследствие чего, испытания проводились в режиме 1 час работы – 30 минут перерыв. В ходе технологического перерыва проводилось принудительное охлаждение токоограничивающих резисторов, которые за время работы установки нагревались до 70°C .

Также в ходе испытаний варьировалось расстояние между полусферами разрядника. Тем самым, изменялся уровень испытательного напряжения и частота следования импульсов. Данные параметры для каждого из периодов испытаний отслеживались при помощи электронного осциллографа ЭО и вольтметра V (рис. 2), позволяющего установить величину действующего напряжения, прикладываемого к испытуемому объекту.

Результаты ресурсных испытаний приведены в таблице.

Результаты испытаний полиэтиленовой многослойной изоляции на ресурс
импульсами наносекундного диапазона

| Амплитудное значение испытательного напряжения, кВ | Средняя напряженность поля в диэлектрике, кВ/мм | Частота следования импульсов, Гц | Длительность испытаний, мин. | Наработка, импульсов |
|--|---|----------------------------------|------------------------------|----------------------|
| 150 | 31,25 | 8 | 18 | 8640 |
| 135 | 28,125 | 10 | 12 | 7200 |
| 120 | 25 | 12 | 65 | 46800 |
| 120 | 25 | 13 | 67 | 52260 |
| 120 | 25 | 17 | 65 | 66300 |
| 120 | 25 | 18 | 46 | 49680 |
| 120 | 25 | 20 | 70 | 84000 |
| 120 | 25 | 21 | 65 | 81900 |
| 120 | 25 | 20 | 70 | 84000 |
| 120 | 25 | 20 | 65 | 78000 |
| 120 | 25 | 20 | 62 | 74400 |
| 120 | 25 | 22 | 70 | 92400 |
| 120 | 25 | 21 | 70 | 88200 |
| 120 | 25 | 22 | 45 | 59400 |
| 120 | 25 | 20 | 60 | 72000 |
| 140 | 29,17 | 14 | 60 | 50400 |
| 150 | 31,25 | 12 | 25 | 15960 |
| 160 | 33,33 | 8 | 55 | 26400 |
| 160 | 33,33 | 8 | 70 | 33600 |
| 160 | 33,33 | 8 | 70 | 33600 |
| 160 | 33,33 | 8 | 60 | 28800 |
| 160 | 33,33 | 8 | 60 | 28800 |
| 160 | 33,33 | 7,4 | 65 | 28860 |
| 160 | 33,33 | 7,8 | 65 | 30420 |
| 160 | 33,33 | 5 | 15 | 4500 |
| 160 | 33,33 | 7,7 | 65 | 30030 |
| 160 | 33,33 | 7,4 | 50 | 22200 |
| 170 | 35,42 | 7,2 | 35 | 15120 |
| 175 | 36,46 | 5 | 17 | 5100 |
| 180 | 37,5 | 2,5 | 7 | 1050 |
| 170 | 35,42 | 6 | 12 | 4320 |
| Итого: $\approx 6.700.000$ импульсов* | | | | |

* – при пересчете на средний уровень напряженности в диэлектрике 25 кВ/мм

Пересчет значения наработки испытуемой пленочной изоляции к уровню напряженности 25 кВ/мм производился, исходя из значения показателя степени в «формуле жизни» для данного вида изоляции определенного в [5] и составляющего $n = 9,72$. Таким образом, пересчет наработки производился по формуле:

$$M_{25} = \left(\frac{E_i}{25} \right)^{9,72} \cdot M_i, \quad (1)$$

где E_i , M_i – напряженность поля и значение наработки испытуемого объекта для i -того эксперимента, соответственно.

Итоговое значение ресурса полиэтиленовой пленки при средней напряженности электрического поля 25 кВ/мм составляет порядка $6,7 \times 10^6$ импульсов, что более чем в 10 раз превышает аналогичный параметр, определенный для многослойной полиэтиленовой изоляции в [5]. Таким образом, получено экспериментальное подтверждение существенного влияния способа закладки твердой изоляции между прямым и обратным токопроводами ГИН на ресурсные характеристики данной изоляции, что ранее было теоретически показано в [7] с позиции расчета электрического поля. Результаты теоретических экспериментальных исследований использованы при разработке высоковольтных импульсных генераторов, в частности при создании МГИТ, для получения импульса тока 2 МА с длительностью фронта импульса 650 нс [8]. В конструкции МГИТ использована полиэтиленовая изоляция толщиной 60 мм, набранная из слоев пленки с толщиной каждого слоя 120 мкм. С помощью этой изоляции прямой и обратный токопроводы каждого из 12 модулей МГИТ изолированы друг от друга варианту, изображенному на рис. 1, а.

Выводы

- 1 Проведенные ресурсные испытания многослойной полиэтиленовой изоляции при воздействии высоковольтных импульсов напряжения с наносекундным фронтом показали, что ресурс конструкции, выполненной по рис. 1, а более, чем в 10 раз превышает ресурс конструкции, выполненной по вар. 1, б.
- 2 Увеличение ресурса более чем на порядок подтверждает выводы работы [7] о влиянии распределения электрического поля на ресурс при разных способах выполнения изоляции, когда напряженность электрического поля в газовых прослойках отличается в 1,2-2,5 раза в зависимости от .радиуса закругления электрода.

Список литературы: 1. *Месяц Г.А.* Генерирование мощных наносекундных импульсов. – М., Советское радио, 1974. – 255 с. 2. *Бойко Н.И.* Технологии, основанные на воздействии сильных импульсных электрических полей // *Технічна електродинаміка*. – 2002. – Тематичний випуск. Проблеми сучасної електротехніки. – Т. 6. – С. 94-99. 3. *Kovalchuk B.M., Kim A.A., Kumpjak E.V.,*

Zoi N.V., Zorin V.B. 10 Stage LTD for E – beam diode // Proc. of the 13-th QEE QNT. Pulsed Power Conf. USA. – 2002. – P. 1488-1490. 4. *Sinserny P.S., S.K. Lam, Richard Miller, Terry Tucker, Lurry Sunders* // Proc of the 14th IEEE International pulsed power conference. Dallas, Texas USA. – 2003. – P. 615-618. 5. *Бойко Н.И., Евдошенко Л.И., Покладов О.В., Рудаков В.В., Тур А.Н.* Длительная электрическая прочность полиэтиленовой слоистой изоляции при воздействии импульсов наносекундной длительности // Вісник НТУ«ХП». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Електроенергетика і перетворююча техніка. – Харків: НТУ«ХП». – 2003. – № 1, т. 1. – С. 142-147. 6. *Ушаков В.Я.* Электрическое старение и ресурс монолитной полимерной изоляции. – М., Энергоиздат, 1988. – 152 с. 7. *Рудаков В.В., Покладов О.В., Кравченко Ю.В.* Расчет электрического поля системы плоских электродов с твердым диэлектриком // Електротехніка і електро-механіка. – 2006. – № 4. – С. 72-75. 8. *Н.И. Бойко, А.В. Борцов, Л.С. Евдошенко, и др.* Низкоиндуктивная секция генератора мощных высоковольтных импульсов по схеме Фитча // Приборы и техника эксперимента. – М., 2005. – № 4. – С. 57-65.

Поступила в редакцию 12.03.2009.

УДК 621.317.3

Б.Н.ЛАНТУШКО, НТУ «ХПИ»;
Ю.С.НЕМЧЕНКО, НТУ «ХПИ»;
А.И.САРАЕВ, НТУ «ХПИ»

УСТРОЙСТВО СВЯЗИ – РАЗВЯЗКИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ НА УСТОЙЧИВОСТЬ К ВОЗДЕЙСТВИЮ МИКРОСЕКУНДНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ПОМЕХ ПРИ ИХ ПОДАЧЕ В СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ ЛИНИИ

Розглянуто питання практичної реалізації пристрою зв'язку - розв'язки для проведення випробувань технічних засобів на стійкість до мікросекундних імпульсних завад при подачі їх як у симетричні, так і в несиметричні неекрановані лінії зв'язку. Експериментально доведена відповідність технічних характеристик пристрою УЗР-МП (НЕЛЗ) вимогам міжнародного стандарту – IEC 61000-4-5:1995.

The question of practical realization of a coupling/decoupling network for testing the technical facilities on voltage and current surge immunity in symmetrical and in unsymmetrical unshielded intercommunication lines is considered. Specifications of a coupling/decoupling network satisfy the requirements of the international standard IEC 61000-4-5:2005 are proved experimentally.

Введение. В настоящее время обязательным видом испытаний электро-технических, электронных и радиоэлектронных изделий и оборудования (далее в тексте технических средств (ТС)) являются испытания на устойчивость к воздействию микросекундных импульсных помех большой энергии (МИП), возникающих в результате коммутационных переходных процессов и молниевых разрядов.

Данный вид испытаний регламентируется следующими нормативными